

P. Barreiro<sup>1)</sup> • M. Ruiz-Altisent<sup>1)</sup> • F. García<sup>1)</sup> • C. Bielza<sup>2)</sup>

# DESARROLLO DE UN INSTRUMENTO DE AYUDA A LA DECISIÓN PARA LA MEJORA DE LAS LÍNEAS DE CONFECCIÓN

<sup>1)</sup> Departamento de Ingeniería Rural, E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2)</sup> Departamento de Inteligencia Artificial, Universidad Politécnica de Madrid.

## RESUMEN

En este estudio se describe el software de simulación de daños en líneas de clasificación de fruta SIMLIN 2.0. Se refiere su empleo en la simulación de confección de melocotones Sudanel. La susceptibilidad intrínseca es estimada mediante un modelo logístico, ajustado con esta misma herramienta, a partir de datos de Laboratorio. SIMLIN 2.0 precisa la caracterización de las partidas de fruta mediante distribuciones de probabilidad, la cual puede llevarse a cabo con un interfaz de usuario de fácil utilización. El software permite evaluar los porcentajes de daño previstos para cualquier línea de clasificación con distintos niveles de agresividad establecidos por medio de bases de datos generadas con frutos electrónicos tipo IS-100. Aporta distintas salidas gráficas que ayudan a definir las estrategias de mejora que más se adecuen a cada caso.

**Palabras clave:** susceptibilidad a magulladura, melocotón, simulación

## ABSTRACT

A software for simulation of bruise occurrence in fruit grading lines, SIMLIN 2.0, is presented. Examples of application are included on the simulation of handling Sudanel peaches. SIMLIN 2.0 provides algorithms for the selection of logistic bruise prediction models adjusted on the basis of user designed laboratory tests. Handled fruits are characterised for simulation by means of statistical features on the independent variables of the logistic model. SIMLIN 2.0 allows to display different line designs establishing their aggressiveness from internal data bases. Aggressiveness is characterised in terms of data gathered with electronic products IS-100 type. The software provides graphical outputs which enable decision making on the improvement strategies of the lines and the selection of the product to be handled.

mos que permitan evaluar las líneas de clasificación en relación con las magulladuras (Barreiro, 1995), la complejidad que supone integrar los aspectos anteriores para modelizar las relaciones fruto-máquina ha impedido hasta ahora el desarrollo de una simulación realista de las líneas de clasificación.

## METODOLOGÍA. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En el simulador (SIMLIN 2.0, software registrado) se emplea la regresión logística como modelo interno de predicción de la probabilidad de daño (Bielza et al., 2001). El algoritmo matemático empleado en el ajuste de los parámetros innova al incluir la posibilidad de seleccionar el modelo más sencillo con máxima capacidad predictiva. Para ello se parte de unos datos en ASCII aportados por el usu-

rio con tantas filas como frutos evaluados en un ensayo de susceptibilidad en laboratorio. La única restricción en este fichero es la presencia de una primera columna con datos binarios indicativos de si el fruto se ha dañado (1) o no (0) en dicho ensayo, así como una segunda columna relativa al nivel de carga aplicado en el ensayo de laboratorio (expresado en g o número de veces la aceleración de la gravedad, de manera que sea congruente con los datos procedentes de frutos electrónicos tipo IS-100). Las restantes columnas del fichero están abiertas a la inclusión de parámetros físico-mecánicos o de otra índole que puedan ser relevantes en la caracterización de la susceptibilidad intrínseca de los frutos.

El algoritmo de ajuste y selección (Bielza et al., 2001) parte del modelo más complejo que incluye todas las

## INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Propiedades Físicas de la ETSI Agrónomos de Madrid tiene una amplia experiencia en temas relacionados con la mejora de líneas de clasificación de frutas y hortalizas (Barreiro, 1995; García et al., 1996; García-Ramos et al., 1999). Así, la mejora de líneas de clasificación debe ser abordada desde dos aspectos complementarios: 1) la agresividad de la máquina y 2) la susceptibilidad del fruto a daños mecánicos.

La agresividad de la máquina puede establecerse como probabilidad de impactos de distinta intensidad mediante el uso de "frutos electrónicos" (Brown et al., 1990; Schulte et al., 1993; García-Ramos et al., 1999), mientras que la susceptibilidad del fruto a daños mecánicos se evalúa mediante ensayos de laboratorio (Chen et al., 1987; García et al., 1988; Ruiz-Altisent 1991; Barreiro, 1995).

La caracterización de la susceptibilidad a daños debe ser abordada en muchas especies y variedades de fruta en términos probabilísticos debido al carácter errático de la aparición de daños en frutos con similares características intrínsecas (Barreiro et al., 1999).

A pesar de los esfuerzos ya realizados para establecer criterios y algorit-



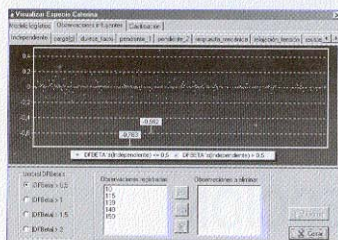


Figura 1. Identificación de observaciones influyentes en el ajuste de modelos logísticos de predicción de daños (en la ventana inferior izquierda aparecen listadas 5 observaciones influyentes).

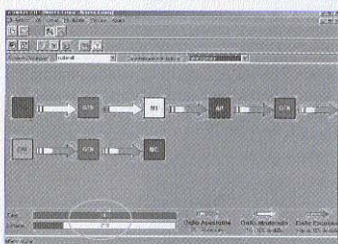


Figura 3. Ejemplo de simulación de daños en la línea 3 cuando manipula melocotón de la variedad *Sudanell*. La caracterización de la fruta cuyos resultados se muestran (21% de frutos dañados) es la denominada heterogénea y refiere a frutos con una firmeza Magness-Taylor media de 20N+6N. Las flechas más claras indican porcentajes de fruto dañado superiores al 5% e inferiores al 10% (tolerancia de la normativa).

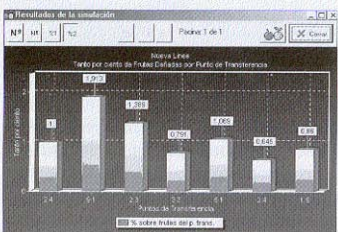


Figura 5. Desglose de daños (6% total) en los distintos puntos de transferencia para melocotón *Sudanell* homogéneo manipulado en la línea 3.

variables disponibles en el fichero ASCII así como todas las combinaciones de variables dos a dos, relevantes en la valoración de interacciones o efectos sinérgicos entre variables. A partir de este punto, se procede a una primera reducción del número de variables para evitar el fenómeno de multi-

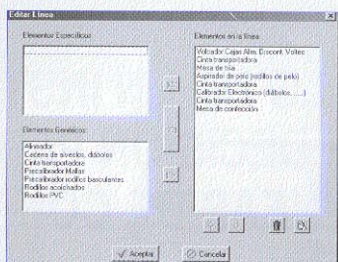


Figura 2. Generación de una línea de clasificación (ventana derecha) a partir de una base de datos de elementos específicos (ventana superior izquierda) y de elementos genéricos (ventana inferior izquierda). La herramienta dispone de rutinas lógicas para la identificación de errores.

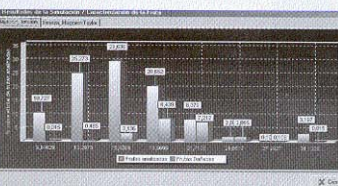


Figura 4. Desglose del porcentaje de fruto dañado según niveles de relajación de la tensión (Pa/Pa), obtenido en la manipulación de melocotón *Sudanell* heterogéneo con la línea 3. Se observa que la susceptibilidad intrínseca del producto es máxima para valores superiores al 20% de relajación de la tensión.

colinealidad. Posteriormente, el uso del estadístico  $G^2$ , denominado *deviance* en ámbitos estadísticos, permite comparar los nuevos modelos simplificados propuestos que suponen la eliminación sucesiva de variables en función del valor asociado controlando el usuario el umbral según el nivel de confianza deseado. Esta herramienta de modelización incorpora ayudas al usuario para diagnosticar la utilidad del modelo de predicción de daños ajustado. Presenta una rutina de identificación de observaciones influyentes (ver Figura 1), así como distintos estadísticos para la constatación de la capacidad predictiva del modelo: máximo porcentaje de bien clasificados (MCCR, evaluado a través del procedimiento de Huberty), índice D de Sommers' y de Goodman-Kruskal Gamma, etc.

Para la generación de la línea de clasificación (ver Figura 2), SIMLIN 2.0

dispone de una base de datos de elementos de líneas de clasificación en la que se detalla la agresividad de los distintos puntos de transferencia en términos de probabilidades de impacto de distinta intensidad valorados como frutos electrónicos tipo IS-100 (García et al, 1997; García-Ramos et al, 1999). Se ha dotado a esta herramienta de una serie de proposiciones lógicas que permiten evaluar la congruencia de la línea (mínimo número y tipo de elementos imprescindibles, así como restricciones en la colocación de dichos elementos).

Una vez construida la línea y ajustado el modelo de predicción de daños es imprescindible tipificar estadísticamente el producto a manipular (Bielza et al, 2001). Este apartado refiere a la caracterización de las distribuciones de probabilidad de las variables de cada modelo logístico de predicción de daño. Dado que existe una enorme flexibilidad en la generación de modelos logísticos, es necesario que SIMLIN adjudique las distintas caracterizaciones de la fruta (título con que se ha denominado a esta opción) a modelos concretos. La caracterización de la fruta se efectúa aportando valores medios y desviaciones típicas para cada variable de un modelo. La dificultad que esto entraña se ve disminuida por la presencia de un interfaz de fácil utilización (Heradio, 2000).

La simulación consiste en primer lugar en generar, de acuerdo con las distribuciones de probabilidad mencionadas, las características de cada fruto que entra en la línea. Introducidos los valores de los parámetros intrínsecos de cada fruto, el modelo logístico resta como una función exclusiva del nivel de carga o impacto expresado en  $g$  ( $m/s^2$ ). Al paso de cada fruto por los distintos puntos de transferencia se genera una intensidad de impacto, empleando el algoritmo de la transformada inversa para distribuciones discretas, que permite reproducir las frecuencias de intensidad de impacto que figuran en la base de datos del programa (Bielza et al., 2001). El número de frutos a simular puede fijarse en un número arbitrario de *palets*, o bien ser calculado por SIMLIN 2.0 con el fin de



alcanzar un nivel de precisión en los resultados de la simulación.

Durante la simulación de la manipulación en la línea se actualiza en pantalla el porcentaje total de fruto dañado (ver Figura 3). Sucesivos gráficos explicativos permiten profundizar en los rangos de valores de los distintos parámetros para los que la susceptibilidad intrínseca de los frutos se hace máxima (ver Figura 4), así como descubrir los puntos de transferencia más conflictivos (ver Figura 5).

RESULTADOS. SIMULACIÓN DE DAÑOS EN LA CONFECCIÓN EN LÍNEA DE MELOCOTÓN SUDANELL

Se han empleado datos del proyecto PETRI PTR 94-0082: "Transferencia de tecnología de técnicas de recolección y post-recolección en cooperativas de la región de Murcia" ya finalizado. Concretamente un fichero ASCII con 360 filas o frutos (evaluados en ensayos de susceptibilidad en laboratorio) y ocho columnas. Como ya se ha indicado en el apartado de metodología, la primera y segunda columnas corresponden a las variables daño (1/0) y nivel de carga o impacto (g, m/s²). Las restantes seis columnas son parámetros para la caracterización de la susceptibilidad intrínseca de los frutos (Barreiro et al., 1999): módulo de deformabilidad (N/mm), comportamiento reológico (mm⁻¹), resistencia de la piel (N), deformación en el punto de rotura de la piel (mm), relajación de la tensión (Pa/Pa) y firmeza Magness-Taylor (N). Este conjunto de datos procede de un ensayo factorial llevado a cabo en laboratorio en el que se contemplaron diversos niveles de madurez en recolección, así como distintos tratamientos de pre-enfriamiento con el fin de generar un amplio espectro de niveles de susceptibilidad intrínseca de los frutos.

El ajuste de un modelo logístico de predicción de daños, mediante SIMULIN 2.0, con un p-valor de 0.01 en el algoritmo de selección de modelos finaliza con la selección de tres variables (ver Tabla 1): nivel de carga o intensidad de impacto (g, m/s²), relajación de la tensión (Pa/Pa) y Firmeza

Tabla 1. Parámetros del modelo logístico de predicción de la probabilidad de daño (p) seleccionados por el algoritmo en melocotón Sudanell.  $p = \frac{e^f}{1+e^f}$ ;  $f = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i$

Término i	$\beta_i$	std error	t-valor
independiente	-13.559	2.0719	-6.5442
intensidad de impacto (g, $x_1$ )	0.0409	0.0068	6.0382
relajación de la tensión (Pa/Pa, $x_2$ )	0.6690	0.0875	7.6487
firmeza Magness-Taylor (N, $x_3$ )	-0.1462	0.0369	-3.9957

Tabla 2. Caracterización estadística (media  $\pm$  desviación típica) de las partidas de fruta a simular. Deliberadamente se han escogido medias iguales para evaluar el efecto de la heterogeneidad de la fruta sobre los porcentajes finales de fruto dañado.

Caracterización de la fruta	heterogénea	homogénea
relajación de la tensión (Pa/Pa, $x_2$ )	14 $\pm$ 4	14 $\pm$ 1
firmeza Magness-Taylor (N, $x_3$ )	20 $\pm$ 6	20 $\pm$ 3

Tabla 3. Distribuciones de intensidad de impacto en los puntos de transferencia de la línea 1.

Punto de transferencia	impacto <50 g	de 50 a 100 g	de 100 a 150 g	> 150 g
Volcador (VOL) a Cinta (GEN)	0.26785	0.20835	0.35715	0.16665
Cinta (GEN) a Mesa de Tría (MT)	0.8571	0.1429	0	0
Mesa de Tría (MT) a Aspirador de Pelo (AP)	0.375	0.625	0	0
Aspirador de Pelo (AP) a Cinta (GEN)	0.854	0.146	0	0
Cinta (GEN) a Calibrador (CAL)	0.875	0.125	0	0
Calibrador (CAL) a Cinta (GEN)	0.1964	0.4717	0.1654	0.1665
Cinta (GEN) a Mesa de Confección (MC)	0.8214	0.1429	0.0357	0

Tabla 4. Distribuciones de intensidad de impacto modificadas en las líneas 2 y 3 respecto a la línea 1.

Punto de transferencia	impacto <50 g	de 50 a 100 g	de 100 a 150 g	> 150 g
línea 2: Volcador (VOL) a cinta (GEN)	0.76785	0.12500	0.10715	0
línea 3: Calibrador (CAL) a Cinta (GEN)	0.7916	0.2084	0	0

Magness-Taylor (N). Cabe destacar la potencia del algoritmo de selección que tan sólo elige tres términos de un total de siete términos simples posibles, y de un total de 21 términos de interacción. Cuando se emplea en la selección un p-valor de 0.05, se incorporan además al modelo las variables de resistencia de la piel (N) y de deformación en punción (mm). Con un p-valor de 0.1, el número de variables es incluso superior incluyendo en el modelo algunos términos de interacción. En ninguno de los tres casos se detectaron observaciones influyentes.

El análisis de los evaluadores estadísticos para los distintos modelos permite seleccionar el más simple, dados los elevados índices de MCCR (84.44%), de sensibilidad (84.37%) y de especificidad (84.48%). El procedimiento de Huberty aporta un resultado de 11.52 que es estadísticamente significativo al 5%. Proceso que también se verifica para las otras medidas de evaluación: D Somers'=0.869 (máximo 1) y Goodman-Kruskal Gamma=0.87 (máximo 1). La observación de los valores estimados de los coeficientes del modelo logístico (ver Tabla 1) indican que la susceptibilidad aumenta



para valores decrecientes de firmeza Magness-Taylor (N), así como para valores crecientes de relajación de la tensión (Pa/Pa).

Para la simulación resulta imprescindible establecer la caracterización de las poblaciones de frutos a simular. Aunque se han hecho multitud de pruebas, en este estudio se muestran los resultados de simulaciones de dos poblaciones o caracterizaciones de la fruta denominadas heterogénea y homogénea respectivamente. Los valores medios de las variables firmeza Magness-Taylor (N) y de relajación de la tensión (Pa/Pa), iguales en ambos casos, se han seleccionado de acuerdo con las características de frutos en calidad organoléptica satisfactoria (Alavoine et al, 1990), y tan sólo la variabilidad de dichos parámetros es diferente (ver Tabla 2).

Se ha generado una línea de clasificación que se ha validado con SIMLIN 2.0 para verificar su correcta construcción. Se denominará en adelante línea 1 y presenta 5 elementos específicos y tres genéricos (ver Figura 2) en el siguiente orden: volcador de torsión, cinta, mesa de tría, aspirador de pelo, cinta, calibrador electrónico, cinta y mesa de confección. Las frecuencias de intensidad de impacto aportados por la base de datos de SIMLIN para los puntos de transferencia de esta línea aparecen reflejados en la Tabla 3. Al simular la manipulación de melocotón Sudanell en esta línea (con un nivel de confianza del 99%) se obtiene un 48% de frutos dañados (sobre 76.252 frutos) en la caracterización heterogénea y un 45% (sobre 68.448) en la caracterización homogénea. Se procede a modificar el punto de transferencia más conflictivo correspondiente al volcador (ver Tabla 4), sustituyéndolo por otro de alimentación de cajas discontinuas (línea 2). La simulación de la línea 2 aporta un total de un 33% de frutos dañados (sobre 75.426) para la caracterización heterogénea y un 23% (sobre 87.751) para la homogénea. Resulta pues imprescindible la realización de una mejora adicional en la línea de clasificación. Se decide sustituir la cinta por rodillos acolchados en la caída desde el calibrador (línea 3, ver Tabla 4). La

simulación de la línea 3 aporta un 21% de frutos dañados (sobre 88.643) para la fruta de características heterogéneas frente a un 6% (sobre 99.185) de melocotones magullados en el lote homogéneo. Este último valor, 6%, se encuentra ya dentro de la tolerancia de la norma comunitaria (10%) con lo que el proceso de mejora se detiene.

SIMLIN 2.0 permite desglosar los porcentajes de daños para distintos rangos de las variables del modelo logístico de predicción de daños empleado. Así, la Figura 4 muestra que para valores de relajación de la tensión superiores al 20% prácticamente todos los frutos se dañan independientemente del impacto recibido. De la misma manera, la Figura 5 efectúa un desglose de los porcentajes de fruto dañado por punto de transferencia respecto al total.

## CONCLUSIONES

La herramienta informática que aquí se presenta permite el empleo de modelos logísticos de predicción existentes para la simulación de daños en líneas de clasificación. Permite asimismo ajustar nuevos modelos según datos del usuario, empleando al efecto distintos algoritmos de comprobación de la calidad de los datos de entrada así como de la capacidad predictiva del modelo ajustado.

La simulación de daños en confección exige la caracterización estadística de las partidas en función de las variables seleccionadas por el algoritmo de ajuste y selección de modelos logísticos. SIMLIN 2.0 permite efectuar de forma rápida y sencilla distintas caracterizaciones con el fin de comprobar el efecto de la susceptibilidad intrínseca del producto sobre la aparición de daños cuando se proceda a la simulación.

Las bases de datos de elementos de las líneas de clasificación permiten generar en pantalla distintos diseños comprobando el efecto de su agresividad sobre el porcentaje de fruto dañado, así como el ensayo de sucesivas mejoras que permitan establecer una estrategia al usuario.

La herramienta informática es totalmente flexible en la introducción de

nuevos elementos en las bases de datos por lo que se espera sea de amplia utilidad para productores, usuarios y fabricantes de líneas de confección.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica de Madrid por la financiación del Proyecto Multidisciplinar nº 8.109, simulador de daños mecánicos en líneas de clasificación de fruta, y a D. Oscar Pacios y D. Rubén Heradio por la implementación del software.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALA VOINE F; CROCHON M; BOUILLON C. 1990. Practical methods to estimate taste quality of fruit: how to tell it to the consumer. Acta Horticulturae 259, 61-68.
2. BARREIRO P. 1995. Modelos para la simulación de daños mecánicos, y desarrollo de un algoritmo de evaluación de maquinaria para los principales cultivos de albaricoque, manzana, melocotón y pera. Tesis Doctoral UPM. Madrid.
3. BARREIRO P; GARCÍA F; RUIZ-ALTISENT M; MARTÍN J.R. 1999. Cuantificación de la susceptibilidad a magulladura en frutos de hueso en términos probabilísticos. Actas de Horticultura de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas nº 27, Tomo IV pp: 135-142. ISBN 84-00-07800-4.
4. BIELZA C; BARREIRO P; RODRIGUEZ-GALIANO M; MARTÍN J. 2001. Logistic regression for simulating damage occurrence on a fruit grading line. Informe Técnico UPM.
5. BROWN G.K.; SCHULTE-PASON N.L.; TIMM E.J. 1990. Impact classification using the instrumented sphere. ASAE PAPER Nº 90-6001.
6. CHEN P., M. RUIZ, F. LU Y A.A. KADER. 1987. Study of impact and compression damage in Asian pears. TRANSACTIONS OF THE ASAE 30(4):1193-1197.
7. GARCÍA C., M. RUIZ Y P. CHEN. 1988. Impact parameters related to bruising in selected fruits. ASAE Paper nº 88-6027.
8. GARCÍA, F., F. RIQUELME, M. RUIZ-ALTISENT, P. BARREIRO. 1996. Study of packing lines for stone fruits and citrus using two instrumented spheres in some cooperatives in the region of Murcia. Paper nº 96-F-038. AgEng '96 Conference on Agricultural Engineering, Madrid, 23-26 Sept. 1996.
9. GARCÍA-RAMOS J; RUIZ-ALTISENT M; ORIHUEL B. 1999. Estudio de tres tipos de calibradores en líneas de clasificación de melocotón y albaricoque en la provincia de Valencia. Actas de Horticultura de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas nº 27, Tomo IV pp: 115-122. ISBN 84-00-07800-4.
10. HERADIO R. 2000. Regresión logística para la predicción de daño y simulación de líneas de clasificación de fruta. Proyecto fin de Carrera, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid.
11. RUIZ ALTISENT M. 1991. Damage Mechanisms in the handling of fruits. Capítulo del Libro "Progress in Agricultural Physics and Engineering". pp 231-257 Ed.J.Matthews.CAB International, 1991.
12. SCHULTE N.L.; TIMM E.J.; BROWN G. 1993. 'Red haven' peach impact damage thresholds. ASAE PAPER Nº 93-513.